饲养密度和高蛋白质饲粮代谢能水平对公母分饲肉鸡生长性能和腿部健康的影响

范庆红[1,2]　王晓晓[3]　董　晓[1*]　孙作为[3*]

（1.青岛农业大学生命科学学院，青岛 266109；2.山东省莱州市畜牧兽医站，莱州 261400；3.山东玖瑞农业集团有限公司，青岛 266061）

摘　要：本试验旨在研究饲养密度与高蛋白质（前期 23%，后期 21%）饲粮代谢能水平对公母分饲肉鸡生长性能和腿部健康的影响。试验采用 2（性别）×2（饲养密度）×3（饲粮代谢能水平）三因子完全随机设计，选用 1 日龄罗斯 308（Ross 308）肉鸡公雏 1 872 只和母雏 2 160 只，随机分成 12 个组，每组 8 个重复。试验设高、低 2 个饲养密度，以出栏体重计，分别为 42[高饲养密度（HSD），16 公/m^2 或 18 母/m^2]和 26 kg/m^2[低饲养密度（LSD），10 公/m^2 或 12 母/m^2]。试验饲粮分前期（1~21 日龄）和后期（22~35 日龄）2 个阶段配制，饲粮代谢能设高、中、低 3 个水平，其中，高代谢能（HME）水平饲粮前期和后期的代谢能水平分别为 12.81 和 13.23 MJ/kg，中代谢能（MME）水平饲粮前期和后期的代谢能水平分别为 12.18 和 12.60 MJ/kg，低代谢能（HME）水平饲粮前期和后期的代谢能水平分别为 11.55 和 11.97 MJ/kg。结果表明：1）饲养密度与饲粮代谢能水平对肉鸡的平均日增重和料重比有显著交互作用（P<0.05）。1~21 日龄时，随着饲粮代谢能水平增加，HSD 组平均日增重的增加幅度和料重比的降低幅度均小于 LSD 组；22~35 日龄时结果正好相反。性别与饲养密度对肉鸡的平均日采食量有显著交互作用（P<0.05）。随着饲养密度增加，公鸡平均日采食量的降低幅度大于母鸡。2）HSD 极显著降低肉鸡的胸肌率（P<0.01），母鸡的胸肌率和腹脂率显著高于公鸡（P<0.05）。饲粮代谢能水平和饲养密度对肉鸡的腿肌率有显著交互作用（P<0.05）。随着饲粮代谢能水平增加，LSD 组肉鸡的腿肌率降低，而 HSD 组基本不变。3）高饲粮代谢能水平极显著降低肉鸡的脚垫损伤评分（P<0.01），公鸡的步态评分和脚垫损伤评分显著高于母鸡（P<0.05），垫料水分含量显著低于母鸡（P<0.05）。饲粮代谢能水平与饲养密度对肉鸡的脚垫损伤评分有显著交互作用（P<0.05）。随着饲粮代谢能水平增加，HSD 组脚垫损伤评分的降低幅度大于 LSD 组。以上结果表明，高饲养密度降低肉鸡的平均

收稿日期：2017-03-20

作者简介：范庆红（1971—），女，山东莱州人，本科生，从事畜牧兽医工作。E-mail: ffqqhh1971@163.com

*通信作者：董　晓，副教授，硕士生导师，E-mail: 1163155358@qq.com；孙作为，博士，E-mail: sunzuowei@foxmail.com

日增重，增加料重比；35 日龄前，公鸡比母鸡的空间需求更高；提高高蛋白质饲粮的代谢能水平可以缓解 HSD 对肉鸡生长性能和脚垫健康的不利影响。

关键词：饲养密度；饲粮代谢能水平；性别；生长性能；腿部健康；肉鸡

中图分类号：S831　　文献标识码：A　　文章编号：

高饲养密度（HSD）（>35 kg/m^2）会降低肉鸡的采食量、日增重和饲料转化率，影响其行走能力和脚垫健康[1-8]。饲养密度对肉鸡的影响是一个综合效应，涵盖群体大小、料位、垫料质量等因素。研究发现，肉鸡对生长空间的需求存在性别和年龄差异，HSD 对公鸡的不利影响主要见于前期（1~21 日龄），而对母鸡的不利影响则主要在后期（35~42 日龄）[9]。在 HSD 条件下，肉鸡的运动量减少，故其营养需求量可能发生改变，尤其是能量。能蛋比是一项重要的营养平衡指标，Sun 等[10]研究报道，在正常饲粮蛋白质水平下，提高饲粮能量水平不能缓解 HSD 对肉鸡的不利影响，而这是否与饲粮蛋白质水平较低有关尚需进一步验证。因此，本试验旨在研究饲养密度、性别和高蛋白质饲粮代谢能（ME）水平对肉鸡生长性能和腿部健康的交互作用，以期更好地指导生产实践。

1　材料与方法

1.1　试验动物与饲养管理

选用 1 日龄罗斯 308（Ross 308）肉鸡公雏 1 872 只和母雏 2 160 只，以稻壳为垫料，分 96 栏（2.0 m×1.6 m）地面平养，每栏配备料筒和乳头式水线。育雏温度最初 2 天为 34 ℃[相对湿度（RH）为 50%]，以后每周降低 2 ℃，直至 26 ℃（RH 为 45%）为止。试验鸡群按正常程序免疫。每天光照时间如下：第 1 天，22 h；第 2~3 天，19 h；第 4~6 天，16 h；第 7~12 天，14 h；第 13~22 天，12 h；第 23~30 天，15 h；第 31~35 天，16 h。在整个试验期间，肉鸡自由采食和饮水。鸡舍环境自动控制，舍内温度、湿度、光照和卫生学指标均符合国家标准（GB/T 14925—1994）。

1.2　试验设计

试验采用 2（性别）×2（饲养密度）×3（饲粮代谢能水平）三因子完全随机设计，共 12 个组，每组 8 个重复。以出栏体重计，2 个饲养密度分别为 42（HSD）和 26 kg/m^2[低饲养密度（LSD）]。其中，HSD 对应公鸡 48 只/栏（16 只/m^2）和母鸡 54 只/栏（18 只/m^2），LSD 对应公鸡 30 只/栏（10 只/m^2）和母鸡 36 只/栏（12 只/m^2）。每栏饲养只数在 1 日龄时

按照公鸡和母鸡预估上市体重分别为 2.6 和 2.3 kg 确定，终末净面积以 3.0 m^2 计。1~21 日龄时，每个饲喂器的容量为 2.5 kg，HSD 公、母鸡的料位分别为 2.6 和 2.3 cm，LSD 公、母鸡的料位分别为 4.2 和 3.5 cm；22~35 日龄时，每个饲喂器的容量为 8.5 kg，HSD 公、母鸡的料位分别为 4.0 和 3.5 cm，LSD 公、母鸡的料位分别为 6.3 和 5.2 cm。

试验饲粮分前期（1~21 日龄）和后期（22~35 日龄）2 个阶段配制，代谢能设高、中、低 3 个水平，其中，高代谢能（HME）水平饲粮前期和后期的代谢能水平分别为 12.81 和 13.23 MJ/kg，中代谢能（MME）水平饲粮前期和后期的代谢能水平分别为 12.18 和 12.60 MJ/kg，低代谢能（LME）水平饲粮前期和后期的代谢能水平分别为 11.55 和 11.97 MJ/kg。饲粮蛋白质水平前期和后期分别为 23%和 21%，其他营养水平均参照 NRC（1994）标准，试验饲粮组成及营养水平见表 1。

表 1　试验饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of experimental diets (air-dry basis)　　%

项目 Items	1~21 日龄 1 to 21 days of age			22~35 日龄 22 to 35 days of age		
	高代谢能 HME	中代谢能 MME	低代谢能 LME	高代谢能 HME	中代谢能 MME	低代谢能 LME
原料 Ingredients						
玉米 Corn	49.23	51.77	48.42	51.93	53.40	49.47
小麦标二粉 Wheat flour (special grade 2)	3.00	3.00	3.00	5.00	5.00	5.00
玉米蛋白粉 Corn gluten meal (60% CP)	4.00	3.00	2.00	6.00	4.00	3.00
玉米干酒糟 DDGS (27% CP)	2.00	2.00	2.00	4.00	4.00	4.00
米糠粕 Rice bran meal			5.68			6.24
豆粕 Soybean meal (46% CP)	31.90	32.81	32.87	21.91	23.53	23.52
双低菜籽粕 Double-low rapeseed meal (37% CP)	2.00	2.00	2.00	3.00	4.00	4.00
豆油 Soybean oil	3.76	1.33		4.25	2.22	1.00
石粉 Limestone	1.30	1.31	1.33	1.26	1.26	1.28
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.58	1.57	1.50	1.52	1.48	1.40

食盐 NaCl	0.31	0.31	0.31	0.36	0.36	0.36
L−赖氨酸盐酸盐 *L*-Lys·HCl (98%)	0.14	0.12	0.10	0.20	0.16	0.14
DL−蛋氨酸 *DL*-Met	0.15	0.15	0.16	0.08	0.10	0.10
L−苏氨酸 *L*-Thr (98%)	0.03	0.03	0.03	0.01	0.01	0.01
氯化胆碱 Choline chloride (60%)	0.10	0.10	0.10	0.08	0.08	0.08
预混料 Premix[1)]	0.50	0.50	0.50	0.40	0.40	0.40
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]						
粗蛋白质 CP	23.00	23.00	23.00	21.00	21.00	21.00
代谢能 ME/(MJ/kg)	12.81	12.18	11.55	13.23	12.60	11.97
钙 Ca	0.95	0.95	0.95	0.90	0.90	0.90
有效磷 AP	0.40	0.40	0.40	0.38	0.38	0.38
总赖氨酸 TLys	1.22	1.22	1.23	1.06	1.07	1.08
可消化赖氨酸 DLys	1.10	1.10	1.10	0.95	0.95	0.95
总蛋氨酸 TMet	0.53	0.53	0.53	0.46	0.46	0.47
可消化蛋氨酸 DMet	0.50	0.50	0.50	0.43	0.43	0.43
总含硫氨基酸 TSAA	0.92	0.92	0.93	0.83	0.83	0.84
可消化含硫氨基酸 DSAA	0.83	0.83	0.83	0.74	0.74	0.74
总苏氨酸 TThr	0.87	0.88	0.88	0.76	0.77	0.77
可消化苏氨酸 DThr	0.77	0.77	0.77	0.67	0.67	0.67
总色氨酸 TTrp	0.26	0.27	0.27	0.22	0.23	0.23
可消化色氨酸 DTrp	0.23	0.24	0.24	0.19	0.20	0.20

[1)] 预混料为每千克饲粮提供 Premix provided the following per kg of diets：Mg 100 mg，Zn 75 mg，Fe 80 mg，I 0.65 mg，Cu 80 mg，Se 0.35 mg，VA 9 000 IU，VD_3 2 000 IU，VE 11 IU，VK 1.0 mg，VB_1 1.2 mg，VB_2 5.8 mg，烟酸 niacin 66 mg，泛酸 pantothenic acid 10 mg，VB_6 2.6 mg，生物素 biotin 0.10 mg，叶酸 folic acid 0.7 mg，VB_{12} 0.012 mg。

[2)]营养水平为计算值。Nutrient levels were calculated values.

1.3 测定指标及方法

1.3.1 生长性能测定

在每个饲养阶段末（21 和 35 日龄时），以重复（栏）为单位，对鸡群进行空腹称重并统计剩料量，以计算平均日增重（ADG）、平均日采食量（ADFI）和料重比（F/G）。

1.3.2 步态和脚垫损伤评分

35 日龄时，每个重复随机选取 2 只鸡进行步态和脚垫损伤评分。步态评分参照 Garner 等[11]改进的方法，标准如下：0 分=步态正常，无行走障碍；1 分=步态异常，有行走障碍；2 分=不愿行走或站立，运动能力严重受损。脚垫损伤评分采用 Bilgili 等[12]描述的方法，标准如下：0 分=脚垫无损伤；1 分=脚垫轻微损伤，伤口直径不足 0.75 cm；2 分=脚垫损伤较重，伤口直径介于 0.75~1.50 cm 之间；3 分=脚垫严重受损，伤口直径大于 1.50 cm。

1.3.3 胴体组成测定

在步态和脚垫损伤评分结束后，对所选每只鸡进行称重，屠宰。取胸肌、腿肌和腹脂，逐一称重，计算器官指数（器官重/体重，%）。

1.3.4 垫料水分含量测定

35日龄时，每个鸡栏选择5个不同的位点（四角和中心），采集垫料样本（全厚），合在一起并混合均匀后，按照美国官方分析化学师协会（AOAC）标准测定垫料水分含量。

1.4 统计分析

使用 SAS 9.0 软件的 GLM 程序对试验数据进行三因素方差分析（three-way ANOVA），当主效应或互作效应显著时（P<0.05），采用 Duncan 氏法对相关均值进行多重比较。

2 结　果

2.1 生长性能

由表 2 可知，1~21 日龄时，饲养密度与饲粮代谢能水平对肉鸡的平均日增重和料重比有显著交互作用（P<0.05）。随着饲粮代谢能水平增加，HSD 组平均日增重的增加幅度（MME vs. LME，−0.44%；HME vs. LME，+0.99%）小于 LSD 组（MME vs. LME，+1.32%；HME vs. LME，+3.96%），HSD 组料重比的降低幅度（MME vs. LME，−2.81%；HME vs. LME，−7.02%）小于 LSD 组（MME vs. LME，−4.55%；HME vs. LME，−8.04%）。饲粮代谢能水平、饲养密度和性别对肉鸡的料重比有显著交互作用（P<0.05）。随着饲粮代谢能水平增加，

HSD 组公鸡料重比的降低幅度（MME vs. LME，−4.26%；HME vs. LME，−7.80%）大于母鸡（MME vs. LME，−1.39%；HME vs. LME，−6.25%），LSD 组母鸡料重比的降低幅度（MME vs. LME，−4.79%；HME vs. LME，−8.22%）大于公鸡（MME vs. LME，−4.29%；HME vs. LME，−7.86%）。

表 2　饲养密度和高蛋白质饲粮代谢能水平对 1~21 日龄公母分饲肉鸡生长性能的影响

Table 2　Effects of stocking density, sex and metabolizable energy level in a high-protein diet on growth performance of broiler chickens from 1 to 21 days of age　(*n*=8)

饲粮代谢能水平 Dietary ME level	饲养密度 Stocking density	性别 Sex	平均日采食量 ADFI/g	平均日增重 ADG/g	料重比 F/G
高代谢能 HME	高饲养密度	母 Female	57.3	42.4^{e}	1.35^{e}
	HSD	公 Male	64.0	49.2^{bc}	1.30^{f}
	低饲养密度	母 Female	58.7	43.7^{d}	1.34^{e}
	LSD	公 Male	65.3	50.7^{a}	1.29^{f}
中代谢能 MME	高饲养密度	母 Female	59.7	42.0^{e}	1.42^{bc}
	HSD	公 Male	65.1	48.3^{c}	1.35^{e}
	低饲养密度	母 Female	59.6	42.8^{de}	1.39^{d}
	LSD	公 Male	66.1	49.2^{bc}	1.34^{e}
低代谢能 LME	高饲养密度	母 Female	60.8	42.2^{e}	1.44^{ab}
	HSD	公 Male	68.3	48.5^{c}	1.41^{c}
	低饲养密度	母 Female	62.0	42.4^{e}	1.46^{a}
	LSD	公 Male	67.6	48.4^{c}	1.40^{cd}
SEM			1.28	1.01	0.03
主效应 Main effects					
饲粮代谢能水平 Dietary ME level		高代谢能 HME	61.3^{y}	46.5^{x}	1.32^{z}
		中代谢能 MME	62.6^{y}	45.6^{y}	1.38^{y}
		低代谢能 LME	64.7^{x}	45.4^{y}	1.43^{x}
饲养密度 Stocking density		高饲养密度 HSD	62.5^{y}	45.4^{y}	1.38

	低饲养密度 LSD	63.2^{x}	46.2^{x}	1.37
性别 Sex	母 Female	59.7^{y}	42.6^{y}	1.40^{x}
	公 Male	66.1^{x}	49.1^{x}	1.35^{y}
P 值 *P*-value				
饲粮代谢能水平 Dietary ME level		0.008	0.004	0.005
饲养密度 Stocking density		0.015	0.006	0.061
性别 Sex		0.003	0.002	0.007
饲粮代谢能水平×饲养密度 Dietary ME level×stocking density		NS	0.021	0.038
饲粮代谢能水平×性别 Dietary ME level×sex		NS	NS	NS
饲养密度×性别 Stocking density×sex		NS	NS	NS
饲粮代谢能水平×饲养密度×性别 Dietary ME level×stocking density×sex		NS	NS	0.024

同列数据肩标不同小写字母表示差异显著（*P*<0.05），相同字母或无字母表示差异不显著（*P*>0.05）。NS 表示差异不显著（*P*>0.05）。下表同。

In the same column, values with different small letter superscripts mean significant difference (*P*<0.05), and with the same or no letter superscripts mean no significant difference (*P*>0.05). NS mean no significant difference (*P*>0.05). The same as below.

由表 3 可知，22~35 日龄时，饲养密度与饲粮代谢能水平对肉鸡的平均日增重和料重比有显著交互作用（*P*<0.05）。随着饲粮代谢能水平增加，HSD 组的平均日增重增加（MME vs. LME，+3.56%；HME vs. LME，+11.53%），LSD 组的平均日增重降低（MME vs. LME，–0.79%；HME vs. LME，–0.49%）；HSD 组料重比的降低幅度（MME vs. LME，–7.48%；HME vs. LME，–13.46%）大于 LSD 组（MME vs. LME，–0.51%；HME vs. LME，–3.30%）。性别与饲养密度对肉鸡的平均日采食量有显著交互作用（*P*<0.05）。随着饲养密度增加，公鸡平均日采食量的降低幅度（HSD vs. LSD，–9.14%）大于母鸡（HSD vs. LSD，–6.54%）。

表 3　饲养密度和高蛋白质饲粮代谢能水平对 22~35 日龄公母分饲肉鸡生长性能的影响

Table 3　Effects of stocking density, sex and metabolizable energy level in a high-protein diet on growth performance of broiler chickens from 22 to 35 days of age　(*n*=8)

饲粮代谢能水平 Dietary ME level	饲养密度 Stocking density	性别 Sex	平均日采食量 ADFI/g	平均日增重 ADG/g	料重比 F/G
高代谢能 HME	高饲养密度 HSD	母 Female	131[f]	60.9[g]	2.16[c]
		公 Male	155[c]	83.2[b]	1.89[de]
	低饲养密度 LSD	母 Female	141[de]	70.6[ef]	2.00[cd]
		公 Male	167[b]	92.5[a]	1.81[e]
中代谢能 MME	高饲养密度 HSD	母 Female	131[f]	56.2[h]	2.33[b]
		公 Male	154[c]	77.6[c]	2.00[cd]
	低饲养密度 LSD	母 Female	142[d]	68.1[f]	2.09[c]
		公 Male	173[a]	94.5[a]	1.83[e]
低代谢能 LME	高饲养密度 HSD	母 Female	138[e]	54.9[h]	2.53[a]
		公 Male	158[c]	74.3[d]	2.15[c]
	低饲养密度 LSD	母 Female	145[d]	70.2[ef]	2.07[c]
		公 Male	174[a]	93.7[a]	1.87[e]
SEM			4.08	2.56	0.12
主效应 Main effects					
饲粮代谢能水平 Dietary ME level		高代谢能 HME	149[y]	76.8	1.97[z]
		中代谢能 MME	150[y]	74.1	2.06[y]
		低代谢能 LME	154[x]	73.3	2.16[x]
饲养密度 Stocking density		高饲养密度 HSD	145[y]	67.9[y]	2.18[x]
		低饲养密度 LSD	157[x]	81.6[x]	1.95[y]
性别 Sex		母 Female	138[y]	63.5[y]	2.20[x]
		公 Male	164[x]	86.0[x]	1.93[y]
P 值 *P*-value					
饲粮代谢能水平 Dietary ME level			0.002	0.091	0.003
饲养密度 Stocking density			0.004	0.001	0.005
性别 Sex			0.001	0.006	0.002

饲粮代谢能水平×饲养密度 Dietary ME level×stocking density	NS	0.046	0.011
饲粮代谢能水平×性别 Dietary ME level×sex	NS	NS	NS
饲养密度×性别 Stocking density×sex	0.003	NS	NS
饲粮代谢能水平×饲养密度×性别 Dietary ME level×stocking density×sex	NS	NS	NS

由表 4 可知，1~35 日龄时，饲养密度与饲粮代谢能水平对肉鸡的料重比有显著交互作用（P<0.05）。随着饲粮代谢能水平增加，HSD 组料重比的降低幅度（MME vs. LME，–4.85%；HME vs. LME，–9.97%）大于 LSD 组（MME vs. LME，–2.03%；HME vs. LME，–5.52%）。性别与饲养密度对肉鸡的平均日采食量有显著交互作用（P<0.05）。随着饲养密度增加，公鸡平均日采食量的降低幅度（HSD vs. LSD，–6.66%）大于母鸡（HSD vs. LSD，–4.58%）。

表 4 饲养密度和高蛋白质饲粮代谢能水平对 1~35 日龄公母分饲肉鸡生长性能的影响

Table 4 Effects of stocking density, sex and metabolizable energy level in a high-protein diet on growth performance of broiler chickens from 1 to 35 days of age (*n*=8)

饲粮代谢能水平 Dietary ME level	饲养密度 Stocking density	性别 Sex	平均日采食量 ADFI/g	平均日增重 ADG/g	料重比 F/G
高代谢能 HME	高饲养密度 HSD	母 Female	86.7^{f}	49.8	1.74^{cd}
		公 Male	100.0^{c}	63.0	1.60^{ef}
	低饲养密度 LSD	母 Female	91.5^{e}	54.5	1.68^{de}
		公 Male	106.0^{b}	67.4	1.57^{f}
中代谢能 MME	高饲养密度 HSD	母 Female	88.0^{f}	47.7	1.85^{b}
		公 Male	101.0^{c}	60.1	1.68^{de}
	低饲养密度 LSD	母 Female	92.4^{e}	52.9	1.75^{c}
		公 Male	109.0^{a}	67.4	1.62^{ef}
低代谢能 LME	高饲养密度 HSD	母 Female	91.8^{e}	47.3	1.94^{a}
		公 Male	104.0^{b}	58.9	1.77^{bc}
	低饲养密度	母 Female	95.4^{d}	53.6	1.78^{bc}

LSD	公 Male	110.0^{a}	66.6	1.66^{de}
SEM		2.91	1.89	0.08
主效应 Main effects				
饲粮代谢能水平 Dietary ME level	高代谢能 HME	96.1^{y}	58.7^{x}	1.65^{z}
	中代谢能 MME	97.6^{y}	57.0^{y}	1.73^{y}
	低代谢能 LME	100.0^{x}	56.6^{y}	1.79^{x}
饲养密度 Stocking density	高饲养密度 HSD	95.3^{y}	54.5^{y}	1.76^{x}
	低饲养密度 LSD	101.0^{x}	60.4^{x}	1.68^{y}
性别 Sex	母 Female	91.0^{y}	51.0^{y}	1.79^{x}
	公 Male	105.0^{x}	63.9^{x}	1.65^{y}
P 值 *P*-value				
饲粮代谢能水平 Dietary ME level		0.008	0.011	0.007
饲养密度 Stocking density		0.006	0.001	0.002
性别 Sex		0.004	0.003	0.005
饲粮代谢能水平×饲养密度 Dietary ME level×stocking density		NS	NS	0.018
饲粮代谢能水平×性别 Dietary ME level×sex		NS	NS	NS
饲养密度×性别 Stocking density×sex		0.022	NS	NS
饲粮代谢能水平×饲养密度×性别 Dietary ME level×stocking density×sex		NS	NS	NS

2.2 胴体组成

由表 5 可知，HSD 显著降低肉鸡的胸肌率（$P<0.01$），母鸡的胸肌率和腹脂率显著高于公鸡（$P<0.05$）。饲粮代谢能水平和饲养密度对肉鸡的腿肌率有显著交互作用（$P<0.05$）。随着饲粮代谢能水平增加，LSD 组肉鸡的腿肌率降低（MME vs. LME，–5.96%；HME vs. LME，–5.64%），而 HSD 组基本不变（MME vs. LME，–1.64%；HME vs. LME，–0.99%）。

表 5 饲养密度和高蛋白质饲粮代谢能水平对 35 日龄公母分饲肉鸡胴体组成的影响

Table 5 Effects of stocking density, sex and metabolizable energy level in a high-protein diet on

carcass composition of broiler chickens at 35 days of age (*n*=8) %

饲粮代谢能水平 Dietary ME level	饲养密度 Stocking density	性别 Sex	胸肌率 Breast muscle yield	腿肌率 Thigh muscle yield	腹脂率 Abdominal fat percentage
高代谢能 HME	高饲养密度 HSD	母 Female	18.6	15.5^{bc}	2.33
		公 Male	17.7	15.2^{cd}	2.04
	低饲养密度 LSD	母 Female	19.2	15.2^{cd}	2.39
		公 Male	18.8	14.9^{de}	2.10
中代谢能 MME	高饲养密度 HSD	母 Female	18.9	14.7^{e}	2.24
		公 Male	18.3	15.2^{cd}	1.84
	低饲养密度 LSD	母 Female	19.4	14.9^{de}	2.31
		公 Male	19.4	15.1^{cde}	1.73
低代谢能 LME	高饲养密度 HSD	母 Female	19.0	15.3^{cd}	1.86
		公 Male	18.1	15.1^{cde}	1.60
	低饲养密度 LSD	母 Female	19.3	15.9^{ab}	2.45
		公 Male	19.3	16.0^{a}	1.68
SEM			0.54	0.43	0.13
主效应 Main effects					
饲粮代谢能水平 Dietary ME level		高代谢能 HME	18.6	15.2^{y}	2.22^{x}
		中代谢能 MME	19.0	15.0^{y}	2.03^{y}
		低代谢能 LME	18.9	15.6^{x}	1.90^{z}
饲养密度 Stocking density		高饲养密度 HSD	18.4^{y}	15.2	1.99
		低饲养密度 LSD	19.2^{x}	15.3	2.11
性别 Sex		母 Female	19.1^{x}	15.3	2.26^{x}
		公 Male	18.6^{y}	15.3	1.83^{y}
P 值 *P*-value					
饲粮代谢能水平 Dietary ME level			NS	0.012	0.004

饲养密度 Stocking density	0.006	NS	NS
性别 Sex	0.028	NS	0.002
饲粮代谢能水平×饲养密度 Dietary ME level×stocking density	NS	0.048	NS
饲粮代谢能水平×性别 Dietary ME level×sex	NS	NS	NS
饲养密度×性别 Stocking density×sex	NS	NS	NS
饲粮代谢能水平×饲养密度×性别 Dietary ME level×stocking density×sex	NS	NS	NS

2.3 腿部健康和垫料水分含量

由表 6 可知，高饲粮代谢能水平显著降低肉鸡的脚垫损伤评分（P<0.01），公鸡的步态评分和脚垫损伤评分显著高于母鸡（P<0.05），垫料水分含量显著低于母鸡（P<0.05）。饲粮代谢能水平与饲养密度对肉鸡的脚垫损伤评分有显著交互作用（P<0.05）。随着饲粮代谢能水平增加，HSD 组脚垫损伤评分的降低幅度（MME vs. LME，–15.7%；HME vs. LME，–49.0%）大于 LSD 组（MME vs. LME，–15.5%；HME vs. LME，–34.0%）。

表 6 饲养密度和高蛋白质饲粮代谢能水平对 35 日龄公母分饲肉鸡腿部健康和垫料水分含量的影响

Table 6 Effects of stocking density, sex and metabolizable energy level in a high-protein diet on leg health and litter moisture content of broiler chickens at 35 days of age (n=8)

饲粮代谢能水平 Dietary ME level	饲养密度 Stocking density	性别 Sex	步态评分 Gait score	脚垫损伤评分 Footpad burn score	垫料水分含量 Litter moisture content/%
高代谢能 HME	高饲养密度 HSD	母 Female	0.69	0.88^{f}	38.0
		公 Male	0.94	1.13^{e}	35.3
	低饲养密度 LSD	母 Female	0.25	0.44^{g}	32.6
		公 Male	1.13	0.88^{f}	30.7
中代谢能 MME	高饲养密度 HSD	母 Female	0.56	1.44^{cd}	35.6
		公 Male	1.13	1.88^{b}	34.4
	低饲养密度	母 Female	0.25	0.81^{f}	34.1

	LSD	公 Male	0.94	0.88^{f}	30.7
低代谢能 LME	高饲养密度 HSD	母 Female	0.63	1.63^{c}	37.6
		公 Male	1.75	2.31^{a}	33.7
	低饲养密度 LSD	母 Female	0.13	0.75^{f}	35.0
		公 Male	1.00	1.25^{de}	29.0
SEM			0.12	0.19	1.78
主效应 Main effects					
饲粮代谢能水平 Dietary ME level		高代谢能 HME	0.75	0.83^{z}	34.2
		中代谢能 MME	0.72	1.25^{y}	33.7
		低代谢能 LME	0.88	1.49^{x}	33.8
饲养密度 Stocking density		高饲养密度 HSD	0.95^{x}	1.55^{x}	35.8^{x}
		低饲养密度 LSD	0.62^{y}	0.84^{y}	32.0^{y}
性别 Sex		母 Female	0.42^{y}	0.99^{y}	35.5^{x}
		公 Male	1.15^{x}	1.39^{x}	32.3^{y}
P 值 *P*-value					
饲粮代谢能水平 Dietary ME level			NS	0.005	NS
饲养密度 Stocking density			0.003	0.001	0.004
性别 Sex			0.005	0.002	0.006
饲粮代谢能水平×饲养密度 Dietary ME level×stocking density			NS	0.046	NS
饲粮代谢能水平×性别 Dietary ME level×sex			NS	NS	NS
饲养密度×性别 Stocking density×sex			NS	NS	NS
饲粮代谢能×饲养密度×性别 Dietary ME level×stocking density×sex			NS	NS	NS

3 讨 论

3.1 饲养密度和高蛋白质饲粮代谢能水平对公母分饲肉鸡生长性能的影响

本试验发现，1~35 日龄时，HSD 显著降低了肉鸡的平均日采食量和平均日增重，增加

了料重比。这与 Feddes 等[3]和 Dozier 等[5]的研究结果一致，表明 HSD 降低了肉鸡的生长性能。Dozier 等[4]认为，HSD 导致肉鸡增重减缓，部分原因归结于采食量的减少。Sørensen 等[7]推测，HSD 对肉鸡生长性能的不利影响可能与肉鸡行动能力减弱、接触饲粮不便有关。本试验中，HSD 增加了肉鸡的步态评分和脚垫损伤评分，说明肉鸡因腿疾而导致的采食困难可能是 HSD 降低其生长性能的重要原因。

为排除饲喂设施干扰，与其他研究[3,5]相比，本试验肉鸡的单位采食空间（料位/只）更大。Collins 等[13]报道，家禽天生喜欢聚集在料槽周围，这与饲养密度无关。Febrer 等[14]认为，肉鸡是一种群居动物，HSD 有助于催生它们的“社会”习性。这些研究说明，提供充足的采食空间可能有助于提高 HSD 肉鸡的采食量。

HSD 降低了肉鸡的平均日采食量，为了弥补养分摄入的减少，本试验设计了 3 种不同代谢能水平的高蛋白质饲粮，以检验饲养密度与饲粮营养水平的交互作用。1~21 日龄时，高饲粮代谢能水平对 LSD 肉鸡平均日增重和料重比的改善效果优于 HSD；22~35 日龄时，结果正好相反，说明 HSD 增加了肉鸡后期的代谢能需求量。

本试验比较了公鸡和母鸡在不同饲养密度条件下的生长性能。因为公鸡的生长速度较快，所以一般认为公鸡比母鸡需要更多空间。本研究中，HSD 对公鸡平均日采食量的不利影响大于母鸡，尤其是在后期。这与前人研究结果[9-10]相一致，说明在 35 日龄之前，公鸡比母鸡的空间需求更高。

此外，Dozier 等[5]报道，当饲养密度超过 25 kg/m^2 时，随着饲养密度增加，小型肉鸡（体重 1.5~1.8 kg 时上市）的终末体重和胸肌产量都显著降低。与此相似，本试验发现，HSD 显著降低了肉鸡的胸肌率。

3.2 饲养密度和高蛋白质饲粮代谢能水平对公母分饲肉鸡腿部健康与垫料水分含量的影响

与 Sørensen 等[7]报道一致，本试验中，HSD 增加了肉鸡的步态评分，暗示降低饲养密度能够减缓腿病的发生。HSD 加剧了肉鸡的脚垫损伤，Dozier 等[5]认为，这其中有一部分原因与垫料潮湿有关。Dawkins 等[15]在商业肉鸡养殖场所做的大型试验表明，导致肉鸡健康水平下降和死亡率增加的关键因素是由饲养密度引发的环境问题（如空气和垫料质量等），而非饲养密度本身。与 Sørensen 等[7]和 Bilgili 等[12]报道相似，本试验中，公鸡的步态评分和脚垫损伤评分都高于母鸡，表明公鸡的腿部健康状态更差。

Nelson 等[16]报道，前期和中期饲喂低能量水平饲粮（为了减缓生长）不能降低肉鸡的腿病发生率（饲养 8 周）。本试验探讨了高蛋白质饲粮代谢能水平对肉鸡步态评分的影响，研究发现，尽管 HME 饲粮增加了肉鸡的体重，但是腿病的发生并没有加剧，说明体重大不是诱发肉鸡腿疾的主因。

Shepherd 等[17]综述了营养因素与垫料质量之间的关系，表明 LME 水平饲粮加重了肉鸡的脚垫损伤。本试验中，LME 水平饲粮增加了肉鸡的平均日采食量，降低了料重比，暗示粪便养分排泄量增多，而这可能会降低垫料质量。这一推论与 Nagaraj 等[18]报道一致，即饲粮蛋白质水平和来源显著影响肉鸡脚垫损伤的发生率和严重性。以上研究表明，饲喂营养均衡的饲粮可能会通过改善垫料质量缓解脚垫损伤的发生。

4 结 论

① 高饲养密度降低肉鸡的平均日增重，增加料重比。

② 35 日龄前，公鸡比母鸡的空间需求更高。

③ 提高高蛋白质饲粮的代谢能水平可以缓解 HSD 对肉鸡生长性能和脚垫健康的不利影响。

参考文献：

[1] PURON D,SANTAMARIA R,SEGURA J C,et al.Broiler performance at different stocking densities[J].Journal of Applied Poultry Research,1995,4(1):55-60.

[2] ESTEVEZ I,NEWBERRY R C,DE REYNA L A.Broiler chickens:a tolerant social system?[J].Etología,1997,5:19-29.

[3] FEDDES J J R,EMMANUEL E J,ZUIDHOF M J.Broiler performance,body weight variance,feed and water intake,and carcass quality at different stocking densities[J].Poultry Science,2002,81(6):774-779.

[4] DOZIER W A,THAXTON J P,BRANTON S L,et al.Stocking density effects on growth performance and processing yields of heavy broilers[J].Poultry Science,2005,84(8):1332-1338.

[5] DOZIER W A,THAXTON J P,PURSWELL J L,et al.Stocking density effects on male broilers grown to 1.8 kilograms of body weight[J].Poultry Science,2006,85(2):344-351.

[6] ESTEVEZ I.Density allowances for broilers: where to set the limits?[J].Poultry Science,2007,86(6):1265-1272.

[7] SØRENSEN P,SU G,KESTIN S C.Effects of age and stocking density on leg weakness in broiler chickens[J].Poultry Science,2000,79(6):864-870.

[8] SANOTRA S G,LAWSON L G,VESTERGAARD K S,et al.Influence of stocking density on tonic immobility,lameness,and tibial dischondroplasia in broilers[J].Journal of Applied Animal Welfare Science,2001,4(1):71-87.

[9] 孙作为,吕明斌,燕磊,等.饲养密度和饲粮赖氨酸水平对公母分饲肉鸡生长性能、胴体组成和健康状态的影响[J].动物营养学报,2011,23(4):578-588.

[10] SUN Z W,YAN L,YUAN L,et al.Stocking density affects the growth performance of broilers in a sex-dependent fashion[J].Poultry Science,2011,90(7):1406–1415.

[11] GARNER J P,FALCONE C,WAKENELL P,et al.Reliability and validity of a modified gait scoring system and its use in assessing tibial dyschondroplasia in broilers[J].British Poultry Science,2002, 43(3):355-363.

[12] BILGILI S F,ALLEY M A,HESS J B,et al.Influence of age and sex on footpad quality and yield in broiler chickens reared on low and high density diets[J].Journal of Applied Poultry Science,2006,15(3):433-441.

[13] COLLINS L M,SUMPTER D J T.The feeding dynamics of broiler chickens[J].Journal of the Royal Society Interface,2007,4(12):65-72.

[14] FEBRER K,JONES T A,DONNELLY C A,et al.Forced to crowd or choosing to cluster?Spatial distribution indicates social attraction in broiler chickens[J].Animal Behaviour,2006,72(6):1291-1300.

[15] DAWKINS M S,DONNELLY C A,JONES T A.Chicken welfare is influenced more by housing conditions than by stocking density[J].Nature,2004,427(6972):342-344.

[16] NELSON T S,KIRBY L K,JOHNSON Z B.Effect of calcium, phosphorus, and energy level on the incidence of weak legs in heavy male broilers[J].Journal of Applied Poultry Research,1992,1(1):11-18.

[17] SHEPHERD E M,FAIRCHILD B D.Footpad dermatitis in poultry[J].Poultry Science,2010,89(10):2043-2051.

[18] NAGARAJ M,WILSON C A P,HESS J B,et al.Effect of high-protein and all-vegetable diets on the incidence and severity of pododermatitis in broiler chickens[J].Journal of Applied Poultry Research,2007,16(3):304-312.

Effects of Stocking Density, Sex and Dietary Metabolizable Energy Level in a High-protein Diet on Growth Performance and Leg Health of Broiler Chickens

FAN Qinghong[1,2] WANG Xiaoxiao[3] DONG Xiao[1*] SUN Zuowei[3*]

(1. *College of Life Science, Qingdao Agricultural University, Qingdao* 266109, *China*; 2. *Laizhou Animal Husbandry and Veterinary Station, Laizhou* 261400, *China*; 3. *Jiurui Agricultural Group Co. Ltd., Qingdao* 266061, *China*)

Abstract: This study was conducted to investigate the effects of stocking density, sex and dietary metabolizable energy (ME) level in a high-protein (23% in early phase and 21% in later phase) diet on growth performance and leg health of broiler chickens. According a 2 (sex)×2 (stocking density)×3 (dietary ME level) three-factor completely randomized design, 1 872 male and 2 160 female 1-day-old Ross 308 broiler chickens were allotted into 12 groups with 8 replicates per group. Two stocking densities were designed in this experiment: 42 [high stocking densities (HSD), 16 males/m^2 or 18 females/m^2] and 26 kg market weight/m^2 [low stocking densities (LSD), 10 males/m^2 or 12 females/m^2], respectively. The experiment contained early phase (1 to 21 days) and later phase (22 to 35 days), and dietary ME levels divided into high, middle and low levels. The ME levels of high ME (HME) level diet were 12.81 and 13.23 MJ/kg, the ME levels of middle ME (MME) level diet were 12.18 and 12.60 MJ/kg, and the ME levels of low ME (LME) level diet were 11.55 and 11.97 MJ/kg in early phase and later phase. The results showed as follows: 1) Stocking density and dietary ME level had significant interactions on average daily gain (ADG) and the ratio of feed to gain (F/G) of broiler chickens (P<0.05). Increase range of

*Corresponding authors: DONG Xiao, associate professor, E-mail: 1163155358@qq.com; SUN Zuowei, doctor, E-mail: sunzuowei@foxmail.com (责任编辑 李慧英)

ADG and decrease range of F/G from 1 to 21 days of age in HSD group were lower than those in LSD group with the increase of dietary ME level, however, the results were the opposite from 22 to 35 days of age. Sex and stocking density had significant interaction on average daily feed intake (ADFI) of broiler chickens ($P<0.05$). Decrease range of ADFI of male broilers was higher than that of female broilers with the increase of stocking density. 2) HSD significantly decreased breast muscle yield of broiler chickens ($P<0.01$), and breast muscle yield and abdominal fat percentage of female broilers were significantly higher than those of male broilers ($P<0.05$). Stocking density and dietary ME level had significant interactions on thigh muscle yield of broiler chickens ($P<0.05$). Thigh muscle yield of broiler chickens in LSD group was decreased, but there was no change in HSD group with the increase of dietary ME level. 3) Dietary HME level significantly decreased footpad burn score of broiler chickens ($P<0.01$), gait score and footpad burn score of male broilers were significantly higher than thaose of female broilers ($P<0.05$), and litter moisture content of male broilers was significantly lower than that of female broilers ($P<0.05$). Stocking density and dietary ME level had significant interaction on footpad burn score of broiler chickens ($P<0.05$). Decrease range of footpad burn score in HSD group was higher than that of LSD group. In conclusion, HSD decreases ADG and increases F/G of broiler chickens, male broilers need more space than the female before 35 days of age, increasing ME level in the high-protein diet can alleviate the negative effects of HSD on growth performance and footpad health.

Key words: stocking density; dietary metabolizable energy level; sex; growth performance; leg health; broiler chickens